

果樹の枝の水透過係数が葉の水ストレスに 及ぼす影響

山 本 隆 儀
(山形大学農学部果樹園芸学研究室)
(昭和57年8月27日受理)

Effects of Hydraulic Conductivities of Shoots on Leaf Water Stress
of Fruit Trees

Takanori YAMAMOTO

Laboratory of Pomology, Faculty of Agriculture, Yamagata University,
Tsuruoka, Japan
(Received August 27 1982)

緒 言

我が国の東北地方では夏季の果樹園の土壌水分が比較的潤沢であるにもかかわらず、セイヨウナシ、ニホンナシ及びリンゴの水ストレスが著しくなり、特にセイヨウナシの大半の品種に葉の乾燥障害である葉やけが発生する。これらの水ストレスは光合成の減退や果実肥大不良をもたらし、夏の気温が高い年には、果樹の干ばつの被害総額が山形県だけでも数十億円に及ぶことがある。

この湿潤土壌下においても発生する植物の水ストレスの原因は、一般に早朝から昼間にかけて、葉の蒸散速度が根の吸水速度を上回ることによる⁸⁾。このことは高木性果樹にもあてはまるが¹⁶⁾、根から葉までの距離がかなり長いことから、枝幹部の水移動効率の良否が葉の水ストレスに何らかの影響を及ぼしていることが考えられる。しかし、この方面の既往の報告は皆無である。

著者は果樹の水ストレス発生機構を種々の角度から解明しているが、本研究では試作した heat pulse 法装置¹⁵⁾により、主要落葉果樹の新しょうの水透過係数(hydraulic conductivity)を実際に測定し、その性格、季節的变化及び種間差異を明らかにしようとした。さらに、heat pulse 法により着生葉の蒸散速度の測定を行い、葉の水ストレスの強弱の落葉果樹種間差異に、蒸散速度と水透過係数がどの程度関与するかについて調査した。次に、典型的な葉の乾燥障害であるセイヨウナシの葉やけの発生と枝の水透過係数との間の関連性を明らかにしようとした。

実験材料及び方法

1 枝の水透過係数の測定

植物体の水透過係数 (hydraulic conductivity, 以後 L_p で示す)¹³⁾は、土壌の「透水係数」と同じ概念であり、植物体水移動経路における、単位水ポテンシャル勾配当たりの水移動速度($\text{cm sec}^{-1} \text{bar}^{-1}$)であり、次式で表現される。

$$L_p = -V^*/(\Psi_1 - \Psi_2) = -V^*/\Delta\Psi = 1/R \dots\dots\dots (1)$$

ただし, $\Psi_1 < \Psi_2$ である. ここで, V^* は水移動速度 (cm sec^{-1}), Ψ_1 と Ψ_2 は経路の両端を添字で示した各水ポテンシャル (bar), $\Delta\Psi$ は水ポテンシャル勾配 (bar), R は L_p の逆数の抵抗 (bar sec cm^{-1}) である.

新しう上の葉の着生配列による水流分岐の複雑さ及び新しうの木部の水ポテンシャルの直接測定方法には限界があることから, 真の $\Delta\Psi$ 値測定は困難である. 本実験では $\Delta\Psi$ の近似値として, 第1図に示す様に, 新しう先端付近の葉の水ポテンシャル (Ψ_{it}) 及び

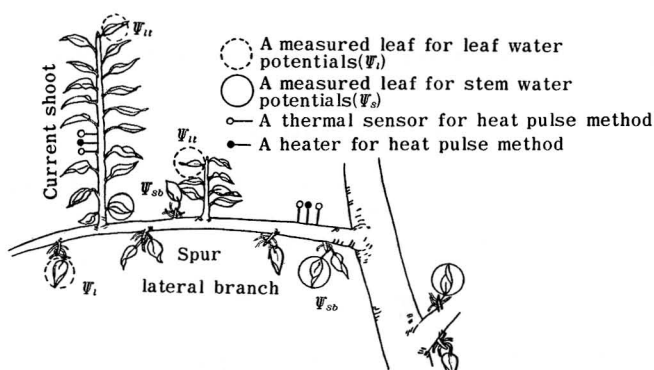


Fig. 1. A diagram showing the measurements of hydraulic conductivities of a current shoot or a lateral branch of 'Bartlett' pera trees. Closed circles indicated measured leaves for stem water potentials (Ψ_s) which were wrapped with polyethylene bags for about 24h before the measuring time. Broken circles indicated measured leaves for leaf water potentials (Ψ_l).

新しう基部の水ポテンシャル (Ψ_{sb}) を測定し, $\Delta\Psi = \Psi_{it} - \Psi_{sb}$ とした. この場合の Ψ_s 測定方法は, 新しう基部葉を測定時1日前からポリエチレン製袋で密閉し, 同葉の水ポテンシャルが新しう基部のそれに平衡した時点における値を読み取ったものである¹⁰⁾. 新しう先端葉の水ポテンシャル (Ψ_{it}) の代わりに新しう先端部の枝の水ポテンシャル (Ψ_{st}) を用いると新しう内の真の水ポテンシャル勾配 $\Delta\Psi (= \Psi_{st} - \Psi_{sb})$ が得られることになるが, ポリエチレン製袋で密閉することによる誤差が大きくなる場合があり, 早朝や夕方の方の水ポテンシャル勾配がゆるやかな時には, しばしば正の $\Delta\Psi$ が生じ, 実験結果の処理上不都合であったので, 密閉処理を施さないで得られる Ψ_{it} を用いた. したがって, 理論上の勾配より少し急勾配の値となり, 得られる L_p の値は少し過少評価されていた.

次に, 側枝の水ポテンシャル勾配は, 第1図に示したように, 側枝基部に取りつけた heat pulse 測定装置より先端部側にある各新しう (発育枝や短枝) 着生葉の水ポテンシャルの平均値と同装置より基部側にある枝 (実際には短枝) の水ポテンシャル (Ψ_{sb}) との差, すなわち $[1/n \sum (\Psi_{in})] - \Psi_{sb}$ の値で近似的に表現した.

これらの水ポテンシャルは pressure chamber 法で測定した¹²⁾. 枝の水移動速度 V^* は heat pulse 法¹⁵⁾により得られる heat pulse 移動速度 $V (\text{cm h}^{-1})$ で代用した. したがって, V^* は heater と温度 sensor 2本が刺し入れられた部位 (active xylem 付近) の水移動速度である.

1981年6月から9月まで毎月1回晴天の日を選び、山形大学農学部研究ほ場果樹園栽植の34年生国光(リンゴ)、16年生新世紀(ニホンナシ)、34年生平核無(カキ)、16年生デラウェア(ブドウ)、6年生ナポレオン(オウトウ)及び16年生セイヨウナシ3品種(バートレット、レッド・バートレット及びグラント・チャンピオン)各1樹を用いて、毎回2ないし3本の新しょうに heat pulse 測定装置を取り付け、日の出から日没まで約2時間間隔に測定した。この測定と併行した Ψ_{sb} と Ψ_{it} の測定には、各測定時刻ごと上記測定枝近くの数本の新しょうの葉3枚を用いた。

15年生バートレット4樹を用いて、1980年7月下旬から8月下旬までの間の葉やけ発生率を合計8本の側枝について調査した。9月上旬の晴天日(9月9日)に葉やけ発生率の最も高かった側枝及び最も低かった側枝各2本を選び、各側枝及び同側枝上に着生した新しょう3本について、上記と同様に、heat pulse 移動速度を測定し、この測定と並行して、上記と同様に Ψ_{sb} と Ψ_{it} を測定した。そして、葉やけ発生の多少と枝の L_b との関連性を調査した。なお、これ以外に、新しょうにねん枝処理を施したものや徒長枝についても上記と同様に L_b を測定した(いずれも3本の新しょうを用いた)。

2 着生葉の蒸散速度の測定

新しょう内の水通過量はそのほぼ全量が着生葉からの蒸散量で占められる¹⁵⁾。また、細い枝の水移動速度 V' (sap velocity または actual flow rate, 単位は $\text{ml sec}^{-1} \text{ stem}^{-1}$)は CLOSS の式¹⁾により、上記 heat pulse 移動速度 V を用いて得られる。

$$V' = \rho_b(m + 0.33)VS_a \dots \dots \dots (2)$$

ここで0.33の数値はセルロースの比熱、 m は測定部の含水比(水分重/乾物重)、 ρ_b は basic density(乾物重/容積, g cm^{-3})、 S_a は新しょう測定部の断面積(cm^2)である。ここで、 V' を同新しょう着生葉面積 $L_a(\text{cm}^2)$ で割ることにより、着生葉の蒸散速度 $E(\text{g cm}^{-2} \text{ sec}^{-1})$ を得ることができる。1で示した測定時期と前後して、各果樹約10本の新しょうの ρ_b , m , L_a 及び S_a を測定し、これらを用いて、各時期の着生葉の蒸散速度を算出した。なお、着生葉の面積は heat pulse の測定終了後採葉して葉面積計で測定した。

3 枝の木部及び道管の形状観察

1で示した測定新しょうとはほぼ同様な新しょうを数本ずつ採取し、横断切片(徒手切片)を作製し、光学顕微鏡法により写真撮影を行い、木部断面積(X_a)、道管直径(V_d)の分布、新しょう1本当りの道管数(V_n)及び道管総断面積(V_a)の季節的变化を測定した。冬期に採取した新しょうの横断切片を用いて、イオンスパッタ法により金蒸着を行い、走査型電子顕微鏡(SEM)により、道管の形状を観察・撮影した。

葉やけに関連した測定を行った枝(新しょう及び側枝)を採取し、上記と同様に徒手切片を作製し、道管直径の分布を調査した。

4 数種落葉果樹の葉の水ストレス比較実験

前記果樹園栽植の34年生リンゴ8品種、34年生カキ2品種、15年生ニホンナシ3品種、15年生セイヨウナシ3品種、15年生ブドウ3品種及び5年生オウトウ3品種(品種名は第9表を参照)の各発育枝(新しょう)の基部葉を用いて、1980年8月7日と8日の両日の

正午ころ及び8月8日の日の出直前時の合計3回, pressure chamber 法により葉の水ポテンシャル (Ψ_l) を測定した。

実験結果及び考察

1 落葉果樹新しょうの L_p の季節的变化

L_p と $\Delta\Psi$ との関係及びその季節的变化を第2図に示した。方法の項で記したように, $\Delta\Psi$ (したがって L_p) の値については, その絶対値性に疑問が残るが, 同図に示した L_p と $\Delta\Psi$ との間の基本的関係, 季節的变化及び種間差異などの調査において, これらの数値がやや相対的な性格を有しても支障は生じない。ここで得られた果樹新しょう L_p は 10^{-3} ~

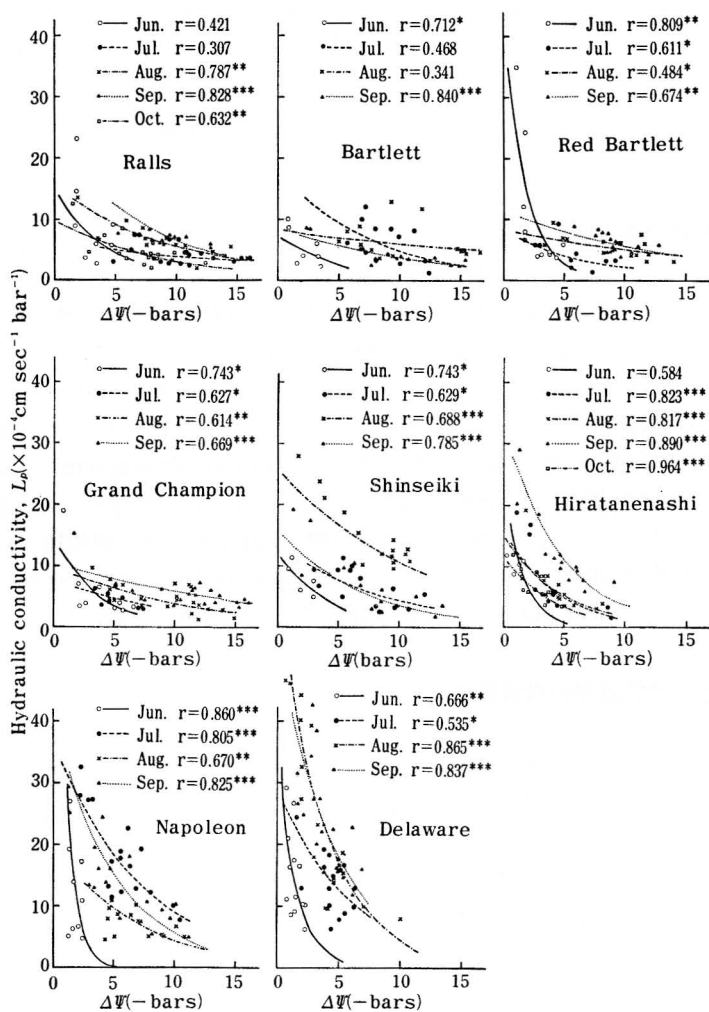


Fig. 2. Seasonal changes in relations between hydraulic conductivities (L_p) and gradients of water potentials ($\Delta\Psi$) in current shoots of several deciduous fruit trees in 1981. r indicates coefficient of correlation between measured L_p and estimated one from regression curve ($L_p = Ae^{B\Delta\Psi}$).

$10^{-4} \text{ cm sec}^{-1} \text{ bar}^{-1}$ のオーダーにあり, L_p 値は水ポテンシャル勾配 $\Delta\Psi$ が急になるほど減少することが全果実共通して認められた(第2図). この原因は不明である. 土壌の「透水係数」も, 土壌が乾燥するにつれて, 数オーダーにわたり減少するが²⁾, この場合, 土壌孔隙の液相連絡が部分的に途絶えたり細くなることによるものと考えられている²⁾. 新しょう内の水ポテンシャル勾配が急になるほど水移動速度は当然ながら上昇するが, その上昇に対する反作用として, 木部の抵抗が増大する結果, 水ポテンシャル勾配が急になるほどには水移動速度は上昇しないものと一般的には解釈できる. しかし, その実体は明らかでない. 考えられる要因として, 水ポテンシャル勾配が急になるにつれて, 土壌の場合と同様に, 道管内移動水の液相→気相転換(水蒸気移動)または全部でないにしてもある部分の道管の水連絡の断絶(空気が入り, その部分が道管としての用をなさなくなる), 昼間の乾燥時刻の道管の収縮現象⁴⁾及び道管内壁の摩擦抵抗増大などがあげられる. 2で示すように, 新しょう内の $\Delta\Psi$ は夏季の昼間にはマイナス十数 bar にもなり, その tension の強さの影響は無視できない. ちょうど, 根側と葉側から極めて強い力で引張られたゴムひもが, 葉側の力が勝るため, 速くても毎時数十センチの速度で移動していることにたとえられる. 年間をとおして見ると, 夏季の乾燥や冬季の低温・乾燥により, 多くの木本植物の道管には空気または樹脂が入り, inactive xylem が形成され, 湿潤温暖な春になると, 根圧(root pressure)による正圧流がこれらの空気を押し出し, 道管には再び樹液が充満するから, 一部の道管は active xylem に逆戻りする²⁾. 夏の夜から日の出にかけて, $\Delta\Psi$ の値はゼロに近くなったが(第2図), このことは道管に水が充満停滞したことを示すものと考えられる. 上記の年間の変化と同様に, 日中, 部分的に inactive xylem が形成され, 夜から日の出にかけて active xylem に逆戻りするならば, $\Delta\Psi - L_p$ の動的関係はよく説明できるが, これらに関連する研究報告例がないので詳細な考察はひかえる.

L_p の $\Delta\Psi$ 依存関係は指数曲線的 ($L_p = Ae^{B\Delta\Psi}$, ただし, A 及び B は定数) であると見なした. しかし, heat pulse 法, pressure chamber 法及び L_p と $\Delta\Psi$ 測定葉が heat pulse 測定枝と異なる新しょうのものであること(したがって, 微気象の差異)などによる誤差が存在したこと, 及び $\Delta\Psi$ の変化に対する L_p のヒステリシスが見られたことからこの回帰曲線に対する実測値のばらつきの大きいものも見られた(第2図).

上記 $L_p - \Delta\Psi$ の動的関係が存在したので, L_p の季節的变化, 種間差異の比較は便宜上, 定 $\Delta\Psi$ 値の推定 L_p 値を用いた. 以後, $\Delta\Psi = -5\text{bar}$ の時の L_p を L_p^* とし, 各果樹の L_p^*

Table 1. Seasonal changes in L_p^* of current shoots ($\times 10^{-4} \text{ cm sec}^{-1} \text{ bar}^{-1}$) of several deciduous fruit trees.

Cultivars	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
Bartlett	2.8	9.5	7.1	5.8	
Red Bartlett	2.7	4.2	6.5	8.1	
Grand Champion	3.6	4.5	6.3	7.9	
Shinseiki	3.5	7.9	16.9	7.8	
Ralls	4.9	5.0	9.4	12.5	5.2
Hiratanenashi	0.9	5.0	5.2	11.7	3.4
Delaware	1.4	12.8	16.8	18.3	
Napoleon	0.1	18.3	9.8	15.2	

の季節的变化を第1表に示した. いずれの果樹でも, L_p^* の値は新しょうの生育初期に小さく, 夏に最大になり, 秋に減少した. 果実収穫の早晩はナポレオンが最も早く (6月下旬), デラウェア (8月中旬), バートレット (8月下旬), 新世紀 (8月下旬), レッド・バートレット (9月上旬), グランド・チャンピオン (9月中旬), 平核無 (10月中旬), 国光 (11月上旬) の順であり, L_p^* の年間最大値出現時期も上記の収穫の早晩とほぼ密接な関係にあったことは興味深い (第1表). 果樹間の L_p^* 値の比較を行うと, ブドウが最も大きく, オウトウがこれについて大きく, カキやセイヨウナシが最も小さい部類に属し, ニホンナシやリンゴは中間的であった (第1表). ブドウで大きい L_p 値が得られたことは, 春先のせん定枝切口からの出液現象 (bleeding) と関連して興味深い.

2 落葉果樹の新しょうの水ポテンシャル勾配の比較

各果樹の新しょう先端部着生葉の水ポテンシャル (Ψ_{lt}) は, 日の出と共に急激に低下し, それと共に新しょう基部の水ポテンシャル (Ψ_{sb}) も低下し始め, 両者の較差は昼間拡大した. 午後から夕方にかけて Ψ_{lt} は上昇し, この較差は縮小し, 日の出直前に Ψ_{sb} にほぼ等しくなった. 果樹の種類により, 昼間の最低 $\Psi_{lb}(\Psi_{lb \cdot min.})$ の値が大きく異なるため, $\Delta\Psi$ にも極めて大きい差異が認められた (第2表). 水ストレスが最も顕著になる8月の昼間の $\Delta\Psi$ は, リンゴとセイヨウナシ (特にバートレット) で急であり, ($\Delta\Psi = -12.6 \sim -17.3 \text{ bar}$), カキとブドウで最もゆるやかであった ($\Delta\Psi = -7.1 \sim -7.5 \text{ bar}$).

Table. 2. Sesaonal changes in the steepest gradients of water potentials in current shoots ($\Delta\Psi$) of several deciduous fruit trees.

Cultivars	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
Bartlett	-4.5 bars	-12.1 bars	-16.0 bars	-14.8 bars	
Red Bartlett	-4.3	- 8.3	-12.6	-11.5	
Grand Champion	-5.9	- 7.8	-13.9	-15.7	
Shinseiki	-2.6	-10.8	-11.9	-12.7	-10.4
Ralls	-4.3	-15.3	-17.3	-14.7	
Hiratanenashi	-1.5	- 7.5	- 7.1	- 7.3	- 6.2
Delaware	-2.2	- 6.1	- 7.5	- 6.5	
Napoleon	-2.4	- 9.4	-10.0	- 9.2	

3 落葉果樹新しょう着生葉の蒸散速度の比較

新しょうの ρ_b , m , S_a , L_a の季節的变化を第3, 4, 5表に示した. これらの数値及び heat pulse 移動速度 V を用いて算出した蒸散速度 E のうちから各月の最高値 (E_{max}) のみ取り出して第6表に示した. E_{max} は全体にセイヨウナシが最も高く, ニホンナシがそれに続いて高く, カキやブドウが最も低かった. たとえば, 8月の E_{max} はバートレットで約 $2 \text{ g dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 平核無で約 $0.4 \text{ g dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ であって, 両者間に約5倍の違いが認められた (第6表). なお, 上記の E 値のオーダーは, heat pulse 法という特殊な方法により得たものであったが, 他の方法による果樹着生葉蒸散測定の結果例, たとえば, 重量法⁵⁾, 蒸散チャンパー法¹¹⁾及び IMPENS らの方法¹⁶⁾の結果と比較してもよく一致した.

Table 3. Seasonal changes in moisture ratios (m) and basic densities (ρ_b) of current shoots of several deciduous fruit trees.

Cultivars	Jun.		Jul.		Aug.		Sep.	
	m	ρ_b	m	ρ_b	m	ρ_b	m	ρ_b
Bartlett	2.909	0.244	1.857	0.405	1.419	0.433	1.170	0.511
Shinseiki	2.581	0.351	2.028	0.351	1.440	0.435	1.250	0.508
Ralls	1.928	0.321	1.423	0.453	1.187	0.438	1.022	0.537
Hiratanenashi	3.214	0.199	2.300	0.375	1.240	0.400	1.120	0.441
Delaware	3.454	0.238	3.108	0.251	1.947	0.367	0.365	0.498
Napoleon	2.400	0.280	2.568	0.278	1.262	0.539	0.992	0.495

Table 4. Seasonal changes in cross areas of current shoots (S_a) and xylem areas per shoot (X_a) of several deciduous fruit trees.

Cultivars	Jun.		Jul.		Aug.		Sep.	
	S_a	X_a	S_a	X_a	S_a	X_a	S_a	X_a
Bartlett	0.246cm ²	0.065cm ²	0.311cm ²	0.122cm ²	0.371cm ²	0.191cm ²	0.498cm ²	0.242cm ²
Shinseiki	0.198	0.059	0.249	0.098	0.426	0.179	0.592	0.194
Ralls	0.133	0.077	0.158	0.162	0.227	0.188	0.236	0.181
Hiratanenashi	0.172	0.071	0.177	0.108	0.204	0.128	0.249	0.152
Delaware	0.254	0.087	0.366	0.185	0.433	0.195	0.470	0.240
Napoleon	0.147	0.036	0.417	0.080	0.457	0.194	0.621	0.230

Table 5. Seasonal changes in leaf areas per current shoot (L_a) of several deciduous fruit trees.

Cultivars	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
Bartlett	284 cm ²	508 cm ²	587 cm ²	860 cm ²
Shinseiki	538	543	879	1,133
Ralls	291	368	476	539
Hiratanenashi	298	363	364	356
Delaware	407	1,837	2,765	3,204
Napoleon	472	1,276	1,570	1,978

Table 6. Seasonal changes in diurnal maximum leaf transpiration rates of several deciduous fruit trees (g dm⁻² h⁻¹)

Cultivars	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
Bartlett	0.3	1.0	2.0	0.7	
Shinseiki	0.2	0.9	1.7	0.9	
Ralls	0.4	0.6	0.7	0.8	0.5
Hiratanenashi	0.2	0.5	0.4	—	0.3
Delaware	0.6	0.5	0.5	0.3	
Napoleon	0.3	0.8	1.0	0.9	

4 木部, 道管の形状及び断面積の季節的变化

各果樹の新しょう断面の季節的变化を第3図(写真)に示した. また, 新しょう断面積(S_a), 木部断面積(X_a), 道管平均直径(V_d), 道管総断面積(V_a), 新しょう1本当たり道管総数(V_n)を第4, 7, 8表に示した. この S_a , X_a , V_a , V_d , V_n の数値は新しょうの生育に伴って増大したが, 5月及び6月に急速な増大期が認められた. 5月の初生木部形成期には道管はまばらであったが, 6月, 7月には道管は太くなり, 数も増大し, 8月, 9月にはやや細い道管が加わり, 木部の厚さが増した(第3図). つる性果樹(vine)であるブドウ

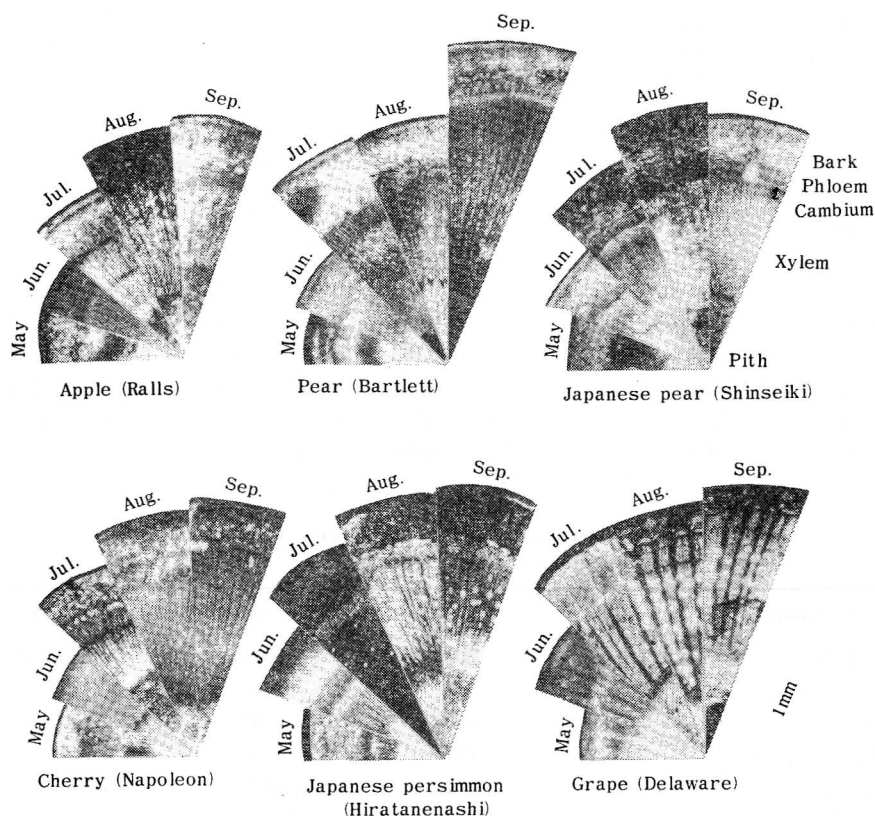


Fig. 3. Seasonal changes in transections of current shoots of several deciduous fruit trees.

Table 7. Seasonal changes in mean diameter of vessels in current shoots (V_d) of several deciduous fruit trees.

Cultivars	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
Bartlett	17 μm	23 μm	28 μm	26 μm	28 μm	μm
Shinseiki	18	24	26	27	26	
Ralls	21	26	24	29	21	24
Hiratanenashi	33	43	52	46	53	44
Delaware	32	49	92	88	82	
Napoleon	16	23	27	30	25	

Table 8. Seasonal changes in total cross areas of vessels per shoot (V_a) in cm^2 and number of vessels per shoot (V_n , $\times 10^4$) of several deciduous fruit trees.

Cultivars	Jun.		Jul.		Aug.		Sep.	
	V_a	V_n	V_a	V_n	V_a	V_n	V_a	V_n
Bartlett	0.018	0.44	0.050	0.81	0.060	1.03	0.065	1.06
Shinseiki	0.011	0.24	0.014	0.26	0.029	0.53	0.031	0.58
Ralls	0.014	0.27	0.039	0.87	0.050	0.85	0.050	0.85
Hiratanenashi	0.014	0.09	0.013	0.07	0.016	0.09	0.077	0.35
Delaware	0.020	0.11	0.068	0.10	0.065	0.10	0.077	0.13
Napoleon	0.009	0.21	0.016	0.28	0.033	0.47	0.046	0.95

の道管は極めて太く、その数は最も少なかった(第4図F, 表7, 8表). カキにもこれと似た傾向が認められた(第4図E, 第7, 8表). これらとは反対に、ナシ類、リンゴ及びオウトウでは、道管数は多かったが、個々の道管は細かった(第4図A, B, C, D, 第7, 8表).

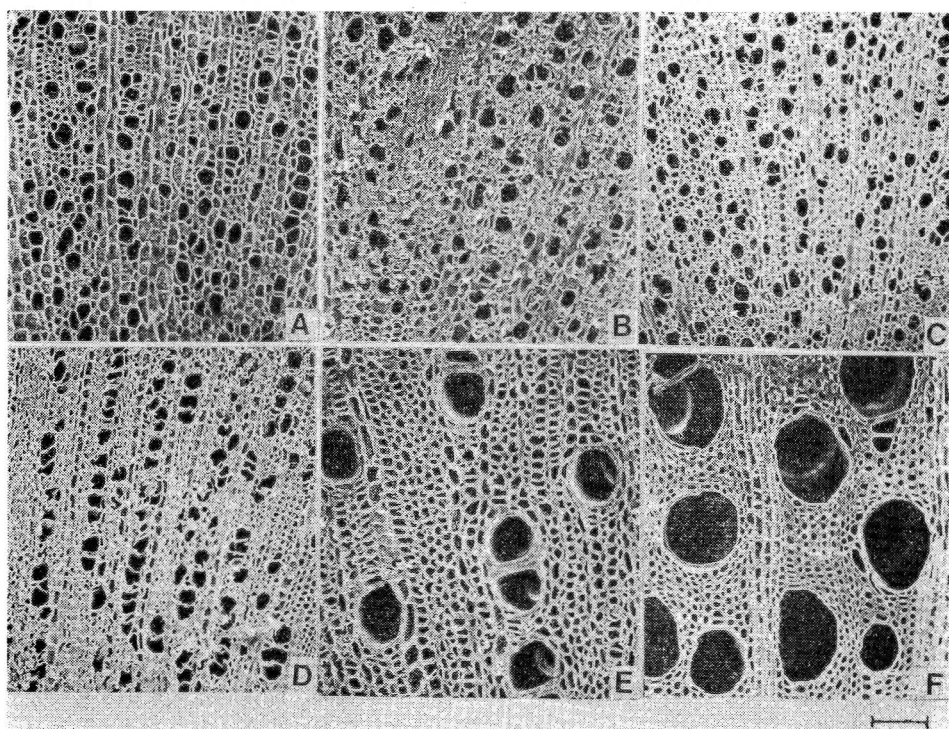


Fig. 4. Vessels in cross sections of the current shoots of several deciduous fruit trees photographed by SEM. Cultivars. A : Bartlett(pear), B : Shinseiki(Japanese pear), C : Ralls(apple). D : Napoleon(cherry), E : Hiratanenashi (Japanese persimmon), F : Delaware (grape). The bar represents 80 μm .

5 数種落葉果樹の夏季の葉の水ストレス比較

正午ころの水ポテンシャルを最低葉水ポテンシャル ($\Psi_{l.min.}$), 日の出直前のものを最高葉水ポテンシャル ($\Psi_{l.max.}$) として, 上記6種の果樹の多くの品種について, この値を第9表に示した. 当日の土壌水分張力(tensiometer法)は, いずれの場所でも 40~60mmHgの

Table 9. A comparison of minimum leaf water potentials ($\Psi_{l.min.}$) and maximum leaf water potentials ($\Psi_{l.max.}$) of several deciduous fruit trees grown in same orchard in a wet soil condition in summer (1980).

Species	Cultivars	$\Psi_{l.min.}$	$\Psi_{l.min.}$	$\Psi_{l.max.}$
		12:25~14:05 on Aug. 7	12:00~13:00 on Aug. 8	4:45~5:15 on Aug. 8
Apples	Indo	-20.6 bars	-20.1 bars	-1.5 bars
	American summer pearmain	-22.8	-20.8	-2.0
	Starking Delicious	-19.8	-19.8	-1.3
	Richared Delicious	-24.2	-21.0	-1.3
	Ralls	-20.6	-19.6	-1.5
	Fuji	-18.8	-18.4	-1.4
	Golden Delicious	-19.2	-19.8	-1.7
	Jonathan	-20.3	-22.7	-1.8
Japanese pears	Shinsui	-15.7	-22.3	-1.5
	Kosui	-22.0	-21.6	-1.6
	Shinseiki	-15.0	-18.5	-1.0
Pears	Bartlett	-23.5	-26.1	-1.6
	Red Bartlett	-19.6	-23.5	-1.2
	Grand Champion	-17.1	-20.4	-1.3
Cherries	Napoleon	-15.4	-17.5	-1.4
	Satonishiki	-14.3	-15.9	-1.6
	Zaonishiki	-13.7	-16.1	-1.8
Japanese persimmon	Hiratanenashi	-14.3	-14.2	-1.3
	Jiro	-10.2	-11.7	-1.5
Grapes	Delaware	-13.6	-12.9	-1.7
	Campbell Early	-12.5	-11.7	-1.5
	Neo Muscat	-8.9	-8.3	-1.0

範囲 (過湿領域) にあった. この $\Psi_{l.min.}$ の数値は, ほぼ同一時刻に測定しており, 同一園地のものであることから, 葉の水ストレスの強弱の樹種間, 品種間差異を示すものと考えて大きな誤りはない. すなわち, 土壌が湿潤条件下の夏季に生ずる葉の水ストレスは, セイヨウナシが最も強く, リンゴとニホンナシがそれについて強く, カキとブドウは最も弱いことが認められた. ナシ類・リンゴとカキ・ブドウの間に, $\Psi_{l.min.}$ として約 10 bar の大差が存在することが認められた. 小林らの果樹要水量の比較調査によると, 要水量は リンゴ・ナシ>モモ>ミカン>ブドウ・オリーブの大小関係にあり⁶⁾, また, 熊代らによ

ると、落葉果樹の切断葉の乾燥回避性（比較蒸散量）はモモ＞リンゴ＞ブドウ＞ニホンナシ＞セイヨウナシの強弱関係にあったという⁹⁾。要水量や乾燥回避性は、蒸散速度に関連する要因であり、水ストレスの主要な要因である。

6 葉の水ストレスの程度と蒸散速度及び新しょう水透過係数との関係

E 及び L_p を測定した6種の果樹の $\Psi_{l.min.}$ (第9表) と各要因との相関関係を第10表に示した。 $\Psi_{l.min.}$ の値が8月のものであったので、下記の諸要因は全て8月のものに限定した。葉の水ストレスの強弱は L_a あるいは材に対する葉の割合ともいふべき L_a/S_a , L_a/V_a

Table 10. Coefficient of correlations between the minimum leaf water potentials ($\Psi_{l.min.}$) and several factors in August of several deciduous fruit trees.

	Factors	Coefficient of correlation
Factors concerning leaf area	L_a	0.517
	L_a/S_a	0.602
	L_a/X_a	0.639
	L_a/V_a	0.646
Factors concerning wood	S_a	-0.034
	X_a	-0.482
	V_a	-0.245
Factors concerning transpiration	$E_{max.}$	-0.828*
	$L_a \cdot E_{max.}$	-0.111
	$L_a \cdot E_{max.}/S_a$	0.253
	$L_a \cdot E_{max.}/X_a$	-0.043
	$L_a \cdot E_{max.}/V_a$	-0.019
Factor concerning hydraulic conductivity	L_p^* (all species)	0.422
	L_p^* (excluding persimmon)	0.754*

X_a , L_a/V_a などの要因との間に正の相関関係が認められた。新しょう1本当たりの着葉面積の大きいブドウやオウトウでは、水ストレスが緩和され、カキを例外としてそれが小さいナシ類やリンゴでは水ストレスが強いため、全体として $\Psi_{l.min.}$ との間に正の相関関係が認められたのである。しかし、葉面積が大きいことが水ストレスを緩和するという因果関係は一般に考えられない。むしろ、水ストレスが本来的に強く発生しないから、葉面積が大きく、材に対する着葉面積の比率が高くて支障がないという生態的特徴の反映と解釈できる。 $\Psi_{l.min.}$ と材の大きさの要因 (S_a , X_a , V_a) との間には負の相関が認められたものの高くなかった(第10表)。最高蒸散速度 $E_{max.}$ 、新しょう1本当たり最大蒸散量を意味する $E_{max.} \cdot L_a$ 及びこの最大蒸散量と材との比率 ($E_{max.} \cdot L_a/X_a$, $E_{max.} \cdot L_a/V_a$) と $\Psi_{l.min.}$ との間に全体的に負の相関関係が認められ、これらの要因が水ストレス増大に関与することが理解できた。しかし、これらの要因のうち、 $E_{max.}$ を除く他の要因との相関関係は相対的に低かったことから、 $E_{max.}$ の高低が葉の水ストレスの種間差異の違いをもたらす主要な要因であることは間違いない。水ポテンシャルは個々の葉肉組織の状態量を示すもので、葉面積(L_a)要因とは独立しているとも解釈できる。新しょうの水透過係数 L_p^*

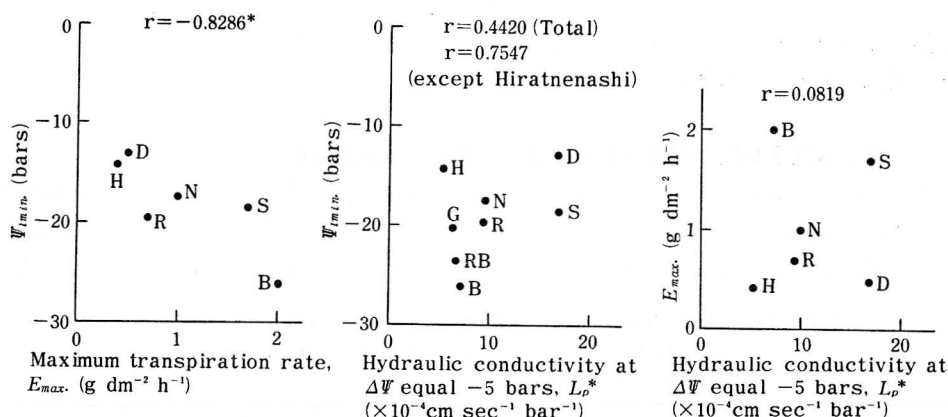


Fig. 5. Correlations between minimum leaf water potential (Ψ_{min}) and each of maximum transpiration rate (E_{max}) and hydraulic conductivity at $\Delta\Psi$ equal -5 bars (L_p^*) (left and middle), and a correlation between E_{max} and L_p^* (right) of several deciduous fruit trees.

Species and cultivars, pears (B : Bartlett, RB : Red Bartlett, G : Grand Champion), apple (R : Ralls), Japanese pear (S : Shinseiki), cherry (N : Napoleon), grape (D : Delaware), Japanese persimmon (H : Hiratanenashi).

と $\Psi_{l.min.}$ との間の相関関係は 0.4420 と小さかったが、カキ (平核無) を除くと 0.7547* であった(第10表, 第5図)。このことは、水ストレスの種間差異の違いに枝内の水移動の効率の良否が重要な要因として関与していることを示す。 $\Psi_{l.min.}$ に対する重相関分析を行ったところ、 E_{max} と L_p^* のわずか2個の変数で葉の水ストレスの種間差異をよく説明できた(全果樹の場合、重相関係数 $R=0.9207$, カキを除くと $R=0.9683$)。カキ(平核無)はその L_p^* の値が小さかったにもかかわらず、ブドウ(デラウェア)と共に $\Psi_{l.min.}$ が著しく高かった理由として、 E_{max} の値が供試果樹中最低であったためである。すなわち、カキは新しょうの水移動効率が低いが、蒸散速度が低く維持される結果、水ストレスが緩和される果樹といえる。

いずれにしても、湿潤土壌条件下の落葉果樹の葉の水ストレスには、蒸散速度が最も強く働くが、他方、新しょうの水透過係数の影響は無視できない。加えて、せん定が毎年施されて、枝構成が複雑になっている栽培果樹では、今回測定しなかった側枝や垂主枝などの水透過係数の大小が葉の水ストレスの樹冠内発生様相の違いをもたらすものと推察される。

根の状態悪化や土壌乾燥などによる吸水速度の低下は、葉の水ストレスの基本的原因⁸⁾ 16)であるが、上記のように E_{max} と L_p^* のみで極めて高い重相関係数が得られたことは、本実験が湿潤土壌条件下で行われたことによるものと考えられる。

なお、上記の水ストレス要因分析に蒸散速度の代わりに、最低拡散抵抗(minimum diffusive resistance)を用いることは一見合理的に思える。しかし、この拡散抵抗は気孔運動の鋭敏性の季節的变化¹⁷⁾、気孔閉鎖及びその水ポテンシャル閾(いき)値¹⁷⁾など水ポテンシャル依存性がある。他方、大気の乾燥程度である蒸散要求(transpiration demand)と拡散抵抗とは無関係である。したがって、拡散抵抗と蒸散要求の両者を反映した蒸散速度を用

いた方がこの場合には無難であろう。

7 新しい L_p 値関連要因

枝の L_p 値の大小をもたらす要因が何かについては、他の植物でも全く知られていない。各果樹で見られた L_p^* 値の季節的変動には、新しょうの発育に伴う木部、道管及び葉の発育が関連していることが予想されたので、 L_p^* とこれらの要因との相関関係を調査してまとめた(第11表)。

各果樹共、 L_a との相関関係はいずれも正であって、葉の生長により L_p^* は増大していた。これは、木部や道管の発育と葉の発育が平行関係にあることから生じた見かけ上の相関であろう。 L_a/S_a , L_a/X_a , L_a/V_a と L_p^* との相関係数には、全果樹を通じて共通性が認められず、正負の値が入り混っていたからである。

新しょうの材の大きさ要因である S_a , X_a , V_a と L_p^* との相関関係はいずれも正であって、材の発育による水の通導経路の拡大が L_p^* 値の増大をもたらしているものと推察される。しかし、材構成の要因である X_a/S_a , V_a/S_a , V_a/X_a と L_p^* との間には全果樹一貫した相関関係が認められなかった。また、全果樹の8月の L_p^* と上記の8月の要因との間には、 X_a/S_a を除いて、いずれも正の相関関係が認められたが、全体に低く、 L_p^* の種間差異が生じる原因として材の大きさは重要でない。

道管の形状や分布に関連する要因である V_d , V_n と L_p^* との相関関係は、国光を例外として、各果樹共正であり、同一果樹では、道管が太いほど、そしてその数が多いほど L_p^* 値が増大することが推察された。しかし、 L_p^* の種間差異の原因として上記のことはあてはまらない。確かに、道管の極めて太いブドウの L_p^* 値は大きかったが、太い部類に属するカキの L_p^* 値は供試果樹中最も小さかったのである。

新しょうの液相及び固相の割合の尺度としての含水比(m)及び basic density(ρ_b)は、全果樹共、季節の推移に伴い前者は減少し、後者は増大した(いわゆる木化の進行。第11表)。 L_p^* との相関関係は m に対して負、 ρ_b に対して正であったが、これから直ちに L_p^* 増減の因果関係は推察できない。新しょうの水気が多い樹種ほど L_p^* 値が大きいといえるが、含水比 m には道管以外の材の構成部分や樹皮(bark)の水分量を含む。また、 m は極めて大きい季節的変動を示し、樹種により一様でなかった。道管の内腔が、空気や樹脂で置き換わることにより、active xylem から inactive xylem への変化²⁾⁷⁾は、当然ながらこの m 値の減少を伴う。収穫期をすぎたパートレットや新世紀の、あるいは10月以降の国光や平核無の L_p^* 値の減少傾向は、inactive xylem の発生を示すものかもしれない。新しょうと異なり、数年を経た枝である側枝や垂主枝には、inactive xylem の発生が著しく、たとえば、林木の色素吸収移行実験により、局部的にしか水が移行しないことが観察されている³⁾。

以上、新しょうの L_p の季節的変化及び種間差異をもたらす要因を分析したが、新しょうの発育及びその材の大きさと L_p^* との間にはある程度関連性が認められたものの、依然としてあまり明りょうでなかった。 L_p 値の大小に関連する要因として上記の材の量的な要因と共に生理的、形態的要因が介在するものと考えられ、今後の調査にゆだねたい。

Table 11. Coefficients of correlation between L_p^* and several factors of several deciduous fruit trees.

Cultivars	Factors concerning leaf area				Factors concerning wood area and its compositions						Factors concerning vessels			Factors concerning moisture and dry matter	
	L_a	L_a/S_a	L_a/X_a	L_a/V_n	S_a	X_a	V_a	X_a/S_a	V_a/S_a	V_a/X_a	V_d	V_n	V_a/S_a	m	ρ_b
Bartlett	0.337	0.748	-0.255	-0.910	0.203	0.309	0.636	0.500	0.923	0.790	0.803	0.562	0.855	-0.573	0.570
Shinseiki	0.593	-0.602	-0.767	-0.917*	0.413	0.690	0.660	0.818	0.848	-0.587	0.889*	0.614	0.852	-0.660	0.370
Ralls	0.696	-0.099	-0.138	-0.299	0.978**	0.677	0.593	-0.049	0.083	0.391	-0.255	0.199	0.310	-0.849	0.776
Hiratanenashi	0.635	-0.606	-0.987**	-0.779	0.937*	0.982**	0.899*	0.998***	0.886*	0.638	0.812	0.882*	0.851	-0.829	0.859
Delaware	0.985**	0.999***	0.978***	0.912	0.986**	0.977*	0.965**	0.872	0.829	0.795	0.872	0.215	-0.928*	-0.829	0.770
Napoleon	0.747	0.080	0.075	0.424	0.796	0.457	0.470	-0.018	-0.319	-0.637	0.435	0.434	-0.518	-0.193	0.195
All species in August	0.611	0.611	0.663	0.517	0.650	0.355	0.287	-0.518	0.289	0.289	0.423	-0.249	-0.155	0.696	-0.243

L_a (leaf area per shoot), S_a (cross area of shoot), X_a (cross area of xylem per shoot), V_a (total cross area of vessels per shoot), V_d (mean vessel diameter), V_n (number of vessels per shoot), m (moisture ratio of shoot), ρ_b (basic density of shoot), L_p^* (hydraulic conductivity at ΔP equal to -5bars).

8 バートレットの葉やけ多発枝の水透過係数

バートレットの葉やけは樹冠上にまんべんなく発生するものでなく、局部的に発生する(第6図. なお同写真は緑色フィルターを通して撮影を行ったので、葉やけ発生部分が暗くなっている). そして、しばしば、側枝単位でその発生率が著しく異なることがある. 今回の実験(1980年)に用いた葉やけ多発枝(側枝)の発生率は平均41.3%, 健全枝のそれはわずか1.5%であった.

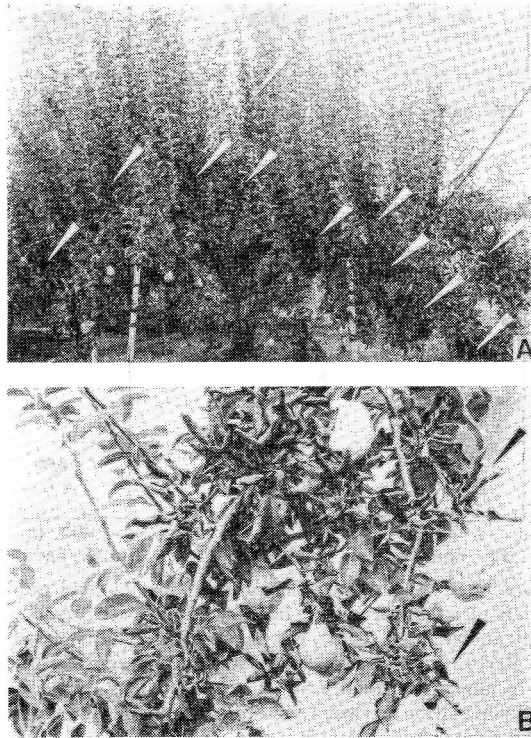


Fig. 6. Photographs of leaf burn of 'Bartlett' pear trees. Burned portions (arrows) were darkened with a green filter.

新しょう及び側枝の L_p と $\Delta\Psi$ との関係を第7図に示した. 多発枝と健全枝との間に、側枝では L_p の明りょうな差異が認められ(第7図A, B), 前者の値が全体に大きかった. しかし、新しょうでは両枝間の差異はほとんど認められなかった(第7図C, D). 徒長枝の L_p (第7図E) は新しょうのそれより若干大きかったが、ねん枝処理枝(新しょう)の L_p 値が特に小さくなることは認められなかった(第7図F).

Heat pulse 測定装置を取りつけた部分の近くの道管直径(V_d)の分布を第8図に示した. V_d は新しょう及び側枝共約 $9\mu\text{m}$ から約 $40\mu\text{m}$ にまで分布していた. この分布は、健全枝と多発枝との間に、新しょうでは差異が認められなかったが、側枝では多発枝の方が道管の密度が高く、道管も太いものが多かった. しかし、これらの道管分布の特徴と L_p 値がやや小さかったこととの関連性は明らかでない.

同一果樹、同一時期において、樹冠内の枝により L_p 値が大きく異なる現象は1~7で

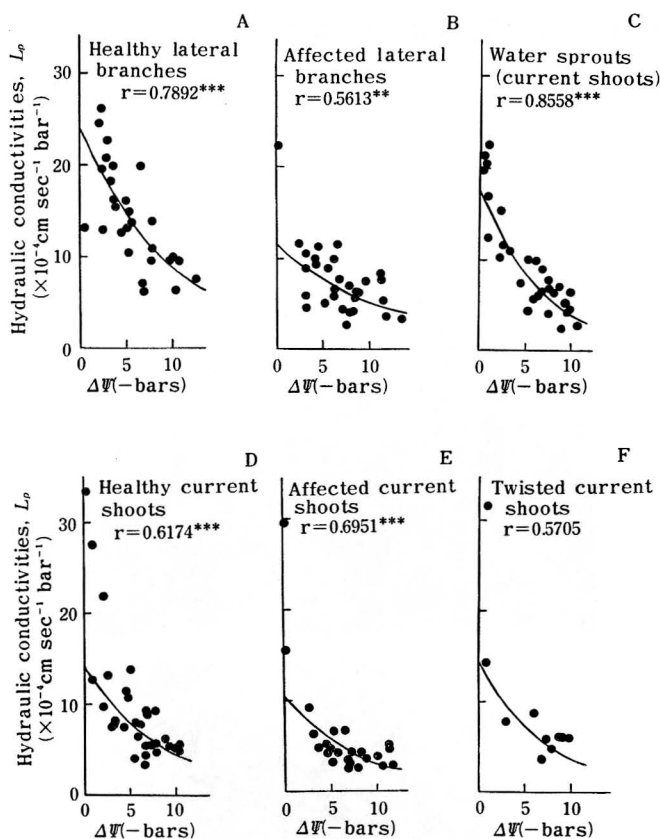


Fig. 7. Relations between hydraulic conductivities (L_p) and gradients of water potentials in lateral branches (healthy and affected, A, B), current shoots (healthy and affected, D, E), water sprouts (C) and twisted current shoots (F) of 'Bartlett' pear trees in September. Percentage of leaf burn were 41.3% in affected branches and 1.5% in healthy ones. r indicates coefficient of correlation between measured L_p and estimated one from regression curve ($L_p = Ae^{B\Delta\Psi}$).

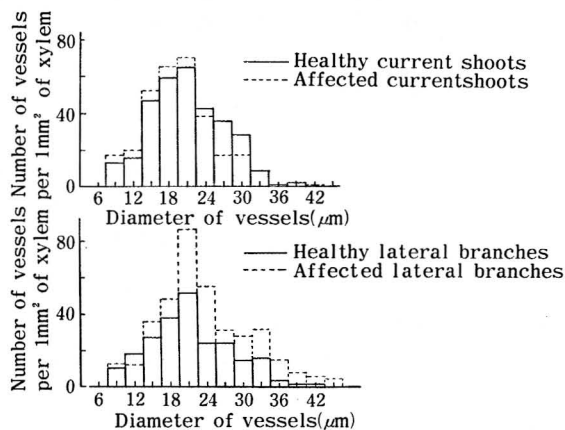


Fig. 8. Comparisons of diameters of vessels between healthy branches and affected ones of 'Bartlett' pear trees in September.

示した L_p の季節的变化及び種間差異とは次元が異なる。そして、そのことが葉やけのように極めて著しい葉の水ストレス及び葉の枯死をもたらす要因として作用していると考えられるならば、その原因として、側枝のように数年を経たものの中に、inactive xylem への進行が急に生じたことがあげられる。もちろん、葉やけが発生しやすい品種のバートレットのことであるので、 L_p 値の減少が葉やけ発生の主な原因と見なすより、発生の助長要因と見なすべきであろう。一般にチロシス、ゴム物質、多糖類またはマイコプラズマなどが維管束を閉さいることにより生じる維管束病 (vascular disease) の症状には、急速な水ストレスと共に葉脈間や葉縁部のクロシスやネクロシスを伴う¹⁴⁾。しかし、これらの維管束病と葉やけ症状とは必ずしも一致しなく、葉やけは植物全体や枝そのものの枯死をもたらさない。むしろ、著しい乾燥条件下では、太い道管ほど空気が入りやすい²⁾⁷⁾ことから、空気侵入により inactive xylem への進行が著しくなったものと考えるのが妥当であろう。

摘 要

数種落葉果樹を用いて、heat pulse 法により新しょうの水透過係数 L_p (hydraulic conductivity) を測定し、着生葉の蒸散速度 E 、夏季の葉の最低水ポテンシャル $\Psi_{l.min.}$ などとの関連性を調査し、夏季、湿潤土壌条件下において、セイヨウナシやリンゴに水ストレスが著しく発生する原因を明らかにしようとした。また、セイヨウナシの葉やけ多発枝の L_p を調査し、葉やけと L_p との関連性を見いだそうとした。結果は次のとおりである。

1. いずれの果樹でも、新しょう内水ポテンシャル勾配 $\Delta\Psi$ が急になるほど、 L_p 値は減少する傾向が認められた。 $\Delta\Psi$ が一定の時 ($\Delta\Psi = -5\text{bar}$) の L_p 値 (以後 L_p^* と記す) を比較すると、多くの果樹で、新しょう生育初期には小さく ($0.1 \sim 4.9 \times 10^{-4} \text{cm sec}^{-1} \text{bar}^{-1}$)、夏にかけて増大し ($7.9 \sim 18.3 \times 10^{-4} \text{cm sec}^{-1} \text{bar}^{-1}$)、秋になると減少した。8月の L_p^* 値はブドウ (デラウェア) で最も大きく、カキ (平核無) やセイヨウナシ (3品種) で小さかった。

2. 夏季の新しょう内水ポテンシャル勾配はリンゴやセイヨウナシで最も急になり ($\Delta\Psi = -13 \sim -17\text{bar}$)、ブドウとカキで最もゆるやかであり ($\Delta\Psi = 7 \sim -8\text{bar}$)、オウトウ (ナポレオン) とニホンナシ (新世紀) では中間的であった。

3. 夏季の着生葉蒸散速度 E はセイヨウナシとニホンナシで最も高く (最高速度 $E_{max} = 1.7 \sim 2.0 \text{g dm}^{-2} \text{h}^{-1}$)、ブドウとカキで最も低く ($E_{max} = 0.4 \sim 0.5 \text{g dm}^{-2} \text{h}^{-1}$)、オウトウとリンゴで中間的であった。

4. 同一園地栽植の数種落葉果樹の真夏の同一時刻の $\Psi_{l.min.}$ には樹種間に最大約 10 bar の大差が認められ、葉の水ストレスはセイヨウナシに最も強く ($\Psi_{l.min.} = -20 \sim -26\text{bar}$)、ついでリンゴ ($\Psi_{l.min.} = -18 \sim -23\text{bar}$)、ニホンナシ ($\Psi_{l.min.} = -18 \sim -22\text{bar}$)、オウトウ ($\Psi_{l.min.} = -16 \sim -18\text{bar}$) の順に強く、ブドウとカキで最も弱かった ($\Psi_{l.min.} = -8 \sim -14\text{bar}$)。

5. 夏季の $\Psi_{l.min.}$ と最も相関が高かった要因は E_{max} であったが、 L_p^* も水ストレスの発達要因としてあげられた。 E_{max} と L_p^* の2要因のみで葉の水ストレスの種間差異の大部分を説明できた ($\Psi_{l.min.}$ に対する重相関係数 $R = 0.920$, カキを除くと $R = 0.968$)。

6. バートレット葉やけ多発枝と健全枝の L_p を側枝及び新しょうで測定したところ、新しょうでは両枝間に差は見られなかったが、側枝では多発枝のものが健全枝よりも小さ

かった。

7. 以上の結果, 夏季湿潤土壌条件下にある我が国東北地方の落葉果樹の中で, セイヨウナシやリンゴに強く現れる葉の水ストレスの原因として, これらの樹種では本来的に葉の蒸散速度が高いことのほかに, 水ポテンシャル勾配が急な時の小さい枝内水透過係数 L_p があげられる. 典型的な葉の水ストレス障害であるセイヨウナシの葉やけの発生もこの小さい L_p と関係が深い.

謝 辞

本研究を遂行するにあたり, 本学部果樹園芸学研究室専攻学生安部豊秋君ならびに五十嵐幸子技官に協力していただいた. ここに感謝の意を表します.

引 用 文 献

- 1) CLOSS, R. L. 1958. The heat pulse methods for measuring rate of sap flow in a plant stem. New Zealand J. Sci. 1 : 281-288.
- 2) 古谷雅樹・宮地重遠・玖村敦彦. 1972. 植物生理学講座5. 物質の交換と輸送. 朝倉書店
- 3) GREENIDGE, K. N. H. 1957. Rates and patterns of moisture movement in trees. In "The Physiology of Forest Trees" (Ed. by K. V. THIMANN. The Ronald Press Company. New York.) : 19-41.
- 4) GREULACH, V. A. 1973. Plant Function and Structure. Macmillan Company, New York.
- 5) 長谷部徹也・武智 修・伊藤代次郎. 1967. 蒸散に関する研究(2). 柑橘蒸散の年変化について. 農業気象. 23 : 19-24.
- 6) 小林 章. 1972. 果樹園芸学大要. 汎論. 養賢室
- 7) KOZLOWSKI, T. T. 1961. The movement of water in trees. Forest. Sci., 7 : 177-192.
- 8) KRAMER, P. J. 1937. The relation between rate of transpiration and rate of absorption of water in plants. Amer. J. Bot., 24 : 10-15.
- 9) 熊代克己・佐藤幸雄・建石繁明. 1975. ナシの葉やけに関する研究(第3報). 葉やけ抵抗性と切断葉の乾燥抵抗性との関係. 園学雑. 43 : 377-382.
- 10) LIU, W. T., W. WENKERT, L. H. ALLEN, Jr., and E. R. LEMON. 1978. Soil-plant water relations in a New York vineyard: Resistance to water movement. Jour. Amer. Soc. Hort. Sci., 103 : 226-230.
- 11) 農林省東海近畿農試作物第1研究室. 1967. 昭和41年度作物の水分消費特性に関する研究. みかんの蒸発散量に関する研究
- 12) SCHOLANDER, D. F., H. T. HAMMEL, D. BRADSTEET., and E. A. HEMMINGSEN. 1965. Sap pressure in vascular plants. Science, N. Y. 148 : 339-346.
- 13) SLATYER, R. O. 1967. Plant-Water Relationships. Academic Press. London and New York.
- 14) TALBOYS, P. W. 1968. Water deficits in vascular disease. In "Water Deficits and Plant Growth. II." (Ed. by T. T. KOZLOWSKI. Academic Press. New York and London) : 255-312.
- 15) 山本隆儀・渡部俊三. 1980. Heat pulse 法によるセイヨウナシの枝・果柄並びに葉柄内の水移動

速度の測定. 園学雑. 49: 311-325.

16) ———・阿部 豊. 1981. ナシ樹の水収支について. 園学雑. 50: 297-305.

17) ———・原田 久. 1979. 西洋ナシの葉やけに関する研究(第10報). 葉の気孔開閉の機能鈍化について. 園学雑. 48: 267-278.

Summary

Using a heat pulse method, hydraulic conductivities(L_p) of current shoots of several deciduous fruit trees were measured. And its relations to leaf transpiration rates(E) and minimum leaf water potentials($\Psi_{l.min.}$) were investigated in these fruit trees, especially in pears and apples which suffer from striking water stress under moist soil conditions in summer. Further, relations between leaf burn of pears and L_p were investigated. The results obtained are summarized as follow.

1. Hydraulic conductivities fell as gradients of water potentials($\Delta\Psi$) became steep in all fruit trees. The comparative values, L_p^* , which are the hydraulic conductivities at fixed gradient($\Delta\Psi = -5$ bars), were low in early growth stage of the shoots($0.1 \sim 4.9 \times 10^{-4} \text{ cm sec}^{-1} \text{ bar}^{-1}$), rose toward summer($7.9 \sim 18.3 \times 10^{-4} \text{ cm sec}^{-1} \text{ bar}^{-1}$) and fell in autumn in all fruit trees. In August, L_p^* were highest in a grape ('Delaware') and lowest in pears and a Japanese persimmon('Hiratanenashi').

2. The steepness of gradients of water potentials of current shoots($\Delta\Psi$) in summer were most evident in an apple('Ralls') and pears($\Delta\Psi = -13 \sim -17$ bars), somewhat evident in a cherry('Napoleon') and a Japanese pear('Shinseiki'), and less evident in a grape and a Japanese persimmon($\Delta\Psi = -7 \sim -8$ bars).

3. Maximum leaf transpiration rates in August(E_{max}) were heighest in pears and a Japanese pear($E_{max} = 1.7 \sim 2.0 \text{ g dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$), lowest in a grape and a Japanese persimmon($E_{max} = 0.4 \sim 0.5 \text{ g dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) and middle in a cherry and an apple.

4. There were large differences in minimum leaf water potentials($\Psi_{l.min.}$) among several deciduous fruit trees grown in the same orchard in summer. Leaf water stress were most evident in pears ($\Psi_{l.min.} = -20 \sim -26$ bars), somewhat evident in apples ($\Psi_{l.min.} = -18 \sim -23$ bars) and Japanese pears ($\Psi_{l.min.} = -18 \sim -22$ bars), middle in cherries($\Psi_{l.min.} = -16 \sim -18$ bars) and less evident in grapes and Japanese persimmons($\Psi_{l.min.} = -9 \sim -14$ bars).

5. $\Psi_{l.min.}$ related closely to E_{max} among fruit trees used ($r = -0.8286^*$). A correlation between $\Psi_{l.min.}$ and L_p^* was not so high including a Japanese persimmon, but high excluding it($r = 0.7547^*$). From multiple regression analysis, degree of leaf water stress was well explained with E_{max} and L_p^* ($R = 0.920$ for all species, $R = 0.968$ excluding a Japanese persimmon).

6. When hydraulic conductivities were compared between affected branches with heavy leaf burn and healthy ones of 'Bartlett' pear trees, the conductivities of the latter were higher than that of the former in the lateral branches, but any difference was not found in the current shoots. The affected lateral branches had

larger vessels than the healthy ones.

7. From the results, it may be concluded that the cause of strong leaf water stress in pears and apples under moist soil orchard in the northeastern district in Japan is high leaf transpiration rates and low hydraulic conductivities of the shoots. The occurrence of leaf burn, a typical leaf drought injury, may be involved in the low hydraulic conductivities of their branches.